

(51) Internationale Patentklassifikation⁶ :

G01B 7/06, 121/02, 101/00

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/58923

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

18. November 1999 (18.11.99)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE99/00869

(22) Internationales Anmeldedatum: 24. März 1999 (24.03.99)

(30) Prioritätsdaten:

198 20 546.5

8. Mai 1998 (08.05.98)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): ROBERT
BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D-70442
Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): DOBLER, Klaus [DE/DE];
Bettaekerstrasse 12, D-70839 Gerlingen (DE). HACHTEL,
Hansjoerg [DE/DE]; Buchenstrasse 4, D-71287 Weissach
(DE). DIMKE, Reinhard [DE/DE]; Paul-Lincke-Strasse
30, D-70195 Stuttgart (DE). AUF DER HEIDE, Franz
[DE/DE]; Tiergartenstrasse 18, D-96123 Litzendorf (DE).
BLATTERT, Richard [DE/DE]; Ziegeleiweg 10, D-71711
Murr (DE). WEBER, Josef [DE/DE]; Enzpark 31, D-71739
Oberriexingen (DE).(81) Bestimmungsstaaten: BR, CN, US, europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU,
MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING THE THICKNESS OF A LAYER MADE OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE MATERIAL

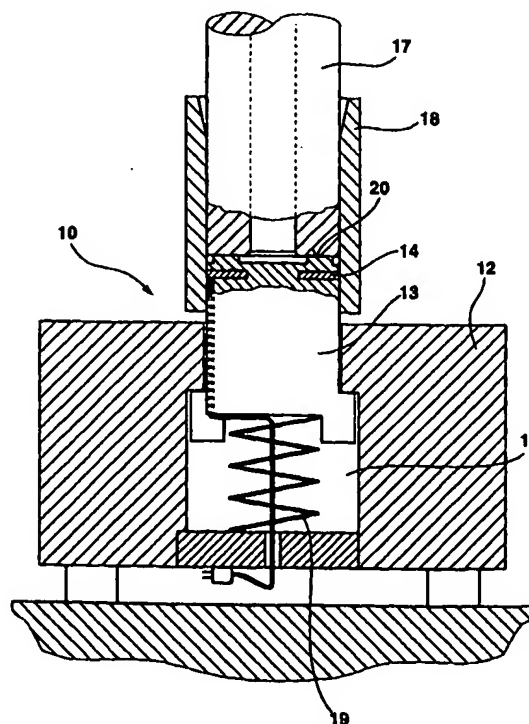
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG EINER DICKE EINER SCHICHT AUS ELEKTRISCH LEITENDEM MATERIAL

(57) Abstract

The invention relates to a method for determining the thickness of a layer made of electrically conductive material, wherein measuring errors caused by differences in the quality of the base material are eliminated. To this end, a dimensionless parameter (K) is determined for each base material. A correction factor (F) can be allocated to each parameter (K) with the aid of an adjustment characteristic curve, by means of which the measured value of layer thickness (D_M) can be converted into a real value of layer thickness (D). Different electric and magnetic properties, caused by differences in quality of the base material, can thus be extensively eliminated.

(57) Zusammenfassung

Bei einem Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material werden die Meßfehler bedingt durch unterschiedliche Qualität des Grundstoffes eliminiert. Hierbei wird für jeden Grundstoff ein dimensionsloser Kennwert (K) ermittelt. Mit Hilfe einer Justierkennlinie kann jedem Kennwert (K) ein Korrekturfaktor (F) zugeordnet werden, mit dem der gemessene Wert der Schichtdicke (D_M) in einen realen Wert der Schichtdicke (D) umgewandelt werden kann. Unterschiedliche elektrische und magnetische Eigenschaften, bedingt durch die unterschiedliche Qualität des Grundstoffes, können somit weitgehend eliminiert werden.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

5

10 Verfahren zur Bestimmung einer Dicke einer Schicht aus
 elektrisch leitendem Material

Stand der Technik

15 Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Bestimmung
 einer Dicke einer Schicht aus elektrisch leitendem Material,
 insbesondere einer Chromschicht, wie es zum Beispiel in der
 nachveröffentlichten DE-A-196 52 750.3 beschrieben ist. Bei
 diesem Meßverfahren ist vorausgesetzt, daß die Qualität des
20 Grundstoffes, auf den die Schicht aufgebracht ist, über eine
 Produktion hin gesehen relativ konstant ist und nur in
 geringen Grenzen schwankt. In der Massenproduktion können
 aber diese geringen Schwankungsgrenzen nur schwer
 eingehalten werden. Dadurch kann es zu Meßungenauigkeiten
25 bei der Bestimmung der Schichtdicke kommen.

Vorteile der Erfindung

30 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung einer Dicke
 einer Schicht aus elektrisch leitendem Material mit den
 Merkmale des unabhängigen Anspruchs hat demgegenüber den
 Vorteil, daß eine Schichtdickenbestimmung bei relativ großen
 Qualitätsschwankungen des Grundstoffes möglich ist. Der
 dadurch auftretende Meßfehler kann durch eine Vormessung
35 weitgehend eliminiert werden. Insbesondere in der

Massenproduktion weisen die von verschiedenen Zulieferern
hergestellten Grundkörper unterschiedliche Qualitäten der
Werkstoffeigenschaften und damit verbunden unterschiedliche
elektrische und magnetische Eigenschaften auf. Diese
5 Schwankungen der stofflichen Beschaffenheit des Grundstoffs
können in relativ einfacher Weise eliminiert werden.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind
vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im
10 unabhängigen Anspruch angegebenen Verfahrens möglich.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung
15 dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher
erläutert. Die Figur 1 zeigt einen schematischen Aufbau der
Meßvorrichtung, in der Figur 2 ist der Verlauf der
Induktivität L der Meßspule über die Dicke a der zu
bestimmenden Schicht bei unterschiedlichen Abständen und bei
20 unterschiedlicher stofflicher Beschaffenheit α bzw. β des
sich unter der zu bestimmenden Schicht befindlichen
Materials dargestellt. In der Figur 3 ist das Verhältnis der
in Figur 2 verwendeten unterschiedlichen Abstände zwischen
der Meßspule und dem Meßobjekt dargestellt. Figur 4 zeigt
25 den Verlauf der Normwerte M_e über der Schichtdicke a . Figur
5 zeigt ein Blockschaltbild des Verfahrens und Figur 6 den
Verlauf der Normwerte M_e über der Schichtdicke a . Figur 7
zeigt ein weiteres Blockschaltbild einer Abwandlung des
Verfahrens und Figur 8 eine Abwandlung des beim Meßverfahren
30 verwendeten Eichkörpers und Figur 9 eine Abwandlung des beim
Meßverfahren verwendeten Meßkörpers.

In der Figur 10 ist der Verlauf der Normwerte M_e über der
Schichtdicke a bei unterschiedlicher Qualität des
35 Grundstoffes dargestellt. Die Figur 11 zeigt ferner den

Verlauf des Korrekturfaktors F über den Kennwert K, der die Qualität des Basismaterials des Grundstoffes beschreibt.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Im folgenden wird zuerst das in der DE-A 196 52 750.3 beschriebene Meßverfahren erläutert, das durch das erfindungsgemäße Korrekturverfahren verbessert wird. Das Meßverfahren selbst beruht auf dem sog. Induktiv-Wirbelstrommeßverfahren.

In der Figur 1 ist ein dafür verwendeter Sensor 10 konstruktiv dargestellt. Der Sensor 10 ist in der Ausnehmung 11 eines Grundkörpers 12 angeordnet und besteht aus einem Spulenkörper 13 auf dem eine von einem hochfrequenten Wechselstrom, zum Beispiel 4 MHz, durchflossene Spule 14 angebracht ist. Die Spule 14 kann zum Beispiel als Flachspule oder Ringspule ausgebildet sein. Der Spulenkörper 13 besteht vorzugsweise aus elektrisch nicht leitendem und nicht ferromagnetischem Material, zum Beispiel Kunststoff, und wird nahezu reibungsfrei in der Ausnehmung 11 geführt. Das zu überwachende Bauteil 17 ist in einen Führungskörper 18 eingebracht, der das Bauteil 17 und die Spule 14 zueinander positioniert. Mit Hilfe einer Feder 19 wird der Spulenkörper 13 und somit die Spule 14 gegen die Oberfläche 20 des Bauteils 17 gedrückt. Die Oberfläche 20 weist die zu bestimmende Schicht auf. Beim Bauteil 17 kann es sich zum Beispiel um den Stutzen eines Einspritzventils handeln, wobei die Schicht 20 dann eine Chromschicht darstellt. Fließt durch die Spule 14 ein Wechselstrom, so wird ein magnetisches Wechselfeld erzeugt, das sowohl die Chromschicht 20 als auch die darunterliegende Materialschicht aus ferromagnetischem Material des Bauteils 17 durchdringt. In der Chromschicht 20 wirkt dann nur der Wirbelstromeffekt, während im ferromagnetischen Material des

Grundkörpers 17 der Induktiv- und Wirbelstromeffekt wirksam sind. Im folgenden werden nun die jeweiligen Meßeffekte einzeln erläutert, die auftreten würden, wenn das jeweilige andere Teil nicht vorhanden wäre. Wird die Spule 14 von einem Wechselstrom durchflossen und erfaßt das magnetische Wechselfeld der Spule nur ein elektrisch gut leitendes aber nicht ferromagnetisches Material, d.h. nur die Chromschicht 20 würde vom magnetischen Wechselfeld der Spule erfaßt, so wirkt nur der sog. Wirbelstromeffekt. Aufgrund der sich in dem elektrisch gut leitenden, aber nicht ferromagnetischen Material ausbildenden Wirbelströme ergibt sich eine Verminderung der Induktivität der Spule 14.

Im folgenden wird nun die Wirkung des magnetischen Feldes der von einem Wechselstrom durchflossenen Spule 14 auf das ihr gegenüberliegende ferromagnetische Material, d.h. auf das Material des Grundkörpers 17 beschrieben. Das magnetische Wechselfeld der von dem Wechselstrom durchflossenen Spule erfaßt das Material des Grundkörpers 17. Es sei darauf hingewiesen, daß bei elektrisch leitendem und ferromagnetischem Material sowohl der ferromagnetische Effekt als auch der Wirbelstromeffekt wirkt. Während der Wirbelstromeffekt eine Verminderung der Induktivität der Meßspule hervorruft, bewirkt der ferromagnetische Effekt eine Erhöhung der Induktivität der Meßspule. Welcher von beiden Effekten überwiegt, ist primär von der Frequenz des Wechselstroms, der die Spule 14 durchfließt, und von der Stoffbeschaffenheit des Grundkörpers 17 abhängig. Überträgt man diese beiden Meßeffekte auf den Grundkörper 17 mit der Chromschicht 20, so läßt sich feststellen, daß je dicker die Chromschicht 20 ist, desto schwächer bildet sich das Magnetfeld aus und damit ist die Induktivität der Spule 14 schwächer. In der Figur 2 ist mit α_1 eine entsprechende Meßkurve dargestellt, die den abnehmenden Verlauf der

Induktivität der Meßspule 14 über die zunehmende Dicke der Chromschicht 20 darstellt.

Der Verlauf der Meßkurve der Induktivität L über der Schichtdicke a hängt aber von der stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers 17, d.h. zum Beispiel von dem elektrischen Widerstand, der Permeabilität des Materials und vom Abstand zwischen der Spule 14 und der Oberfläche 20, die gemessen werden soll, ab. Verändert sich zum Beispiel bedingt durch Verschmutzungen oder durch Abnutzung des Spulenkörpers der Abstand zwischen der Meßspule 14 und der Chromschicht 20, so ergeben sich unterschiedliche Kennlinien des Verlaufs der Induktivität L über der Schichtdicke a . In der Figur 2 sind hier verschiedene Beispiele dargestellt. Die Kennlinien α_2 , α_3 und α_4 stellen hierbei den Verlauf der Induktivität L über der Schichtdicke a bei unterschiedlichem Abstand zwischen der Meßspule und der zu überwachenden Chromschicht aber bei gleicher stofflicher Beschaffenheit des Grundkörpers 17 dar. In der Figur 3 ist hierbei die Größe des Abstandes α zwischen der Spule 14 und der zu überwachenden Chromschicht 20 dargestellt. Es ist ersichtlich, daß der Abstand von α_1 zu α_4 immer größer wird. Würde man hingegen die stoffliche Beschaffenheit des Materials des Grundkörpers 17 verändern, so würden sich die Kennlinien β_1 bis β_4 ergeben. Die Kennlinien β_1 bis β_4 bedeuten wiederum eine Variation des Abstands zwischen der Meßspule und der zu überwachenden Chromschicht bei einer zweiten stofflichen Beschaffenheit des Grundkörpers. Aus dem Diagramm nach der Figur 2 ist erkenntlich, daß einem gemessenen Induktivitätswert L eine Vielzahl möglicher Schichtdicken zugeordnet werden kann. Statt der Induktivität kann auch der Wechselstromwiderstandswert der Spule ausgewertet werden.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren ermöglicht nun auch eine eindeutige Zuordnung zwischen den gemessenen Induktivitätswerten L der Meßspule 14 und der Dicke a der Chromschicht 20, wenn sich die stoffliche Beschaffenheit des Grundkörpers 17 und/oder der Abstand zwischen der Meßspule 14 und der Oberfläche der zu bestimmenden Chromschicht ändert. Kern des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es, eine Normung durchzuführen, die auftretende Meßfehler eliminiert und einen eindeutigen zuordbaren Meßwert ermittelt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Bestimmung der Dicke einer Schicht wird in mehreren Meß- und Auswerteschritten durchgeführt. Vor der Beschichtung des Grundkörpers 17 wird in einer sog. Vormessung ein Induktivitätswert L_0 der Spule 14 ermittelt. Hierbei sitzt die Spule 14 möglichst direkt auf der noch unbeschichteten der Spule zugewandten Oberfläche (Meßfläche) des Grundkörpers 17 auf. Es erfolgt somit nur eine Messung gegenüber dem Material des Grundkörpers 17. Die Größe des Induktivitätswerts L_0 hängt von der Beschaffenheit des Grundkörpers ab, insbesondere von dessen magnetischen und elektrischen Eigenschaften. Diese Beschaffenheit des Grundkörpers 17 kann in einer Serienfertigung schwanken. Deshalb ist der Induktivitätswert L_0 zu Beginn der Messung für jeden einzelnen Grundkörper 17 zu ermitteln und auch zuordbar in einem Datenspeicher abzuspeichern.

Anschließend wird nun der Grundkörper 17 in einer entsprechenden Beschichtungsanlage mit einer Chromschicht 20 versehen. Danach erfolgt eine zweite Messung, d.h. eine sog. Nachmessung, die an derselben Stelle des Grundkörpers 17 wie die oben erwähnte Vormessung durchgeführt wird. Dabei ergibt sich ein Induktivitätswert L_x der Meßspule 14. Die Größe des Induktivitätswerts L_x wird u.a. von der Dicke der Chromschicht 20 und von der stofflichen Beschaffenheit des

Grundkörpers 17 bestimmt. Es ist sicherzustellen, daß beide ermittelten Induktivitätswerte L_0 bzw. L_x jeweils eindeutig demselben Grundkörper 17 zuzuordnen sind. Diese beiden Induktivitätswerte L_0 bzw. L_x werden nun mit Hilfe eines Algorithmuses in Normwerte umgeformt, d.h. in dimensionslose Kennzahlen, die einer entsprechenden Schichtdicke zuordbar sind. Um diese Normwertbildung durchführen zu können, muß der Induktivitätswert L_∞ ermittelt werden. Diesen Induktivitätswert L_∞ erhält man, wenn an einem Eichkörper eine Messung ausschließlich gegenüber einer Chromschicht durchgeführt wird. Die Oberfläche des Eichkörpers muß dabei eine so dicke Chromschicht aufweisen, daß sie das gesamte Magnetfeld der Spule abschirmt, so daß im ferromagnetischen Grundstoff des Eichkörpers weder der induktive noch der Wirbelstromeffekt sich auswirken kann. Gegebenenfalls könnte beim Eichkörper an Stelle von Chrom auch ein anderer elektrisch leitender, jedoch nicht ferromagnetischer Stoff als Ersatz verwendet werden. Entsprechend der Gleichung 1 wird nun der Normwert Me ermittelt. Der Faktor 1000 kann beliebig zwischen Null und Unendlich variiert werden.

$$(1) \quad Me = 1000 \cdot \frac{L_x - L_0}{L_\infty - L_0}$$

Me = Meßwert/Normwert

L_0 = Induktivitätswert (unbesch. Grundkörper)

L_x = Induktivitätswert (beschichtetes Teil)

L_∞ = Induktivitätswert (Eichkörper aus Chrom)

In der Figur 4 ist nun der Verlauf γ der entsprechend der Gleichung (1) normierten Meßwerte Me über der Schichtdicke a dargestellt. Die verschiedenen in der Figur 2 dargestellten Kurven ergeben einen nahezu zusammenfallenden Verlauf γ der jeweils ermittelten Normwerte Me . Es ist ersichtlich, daß in der Figur 4 gegenüber der Figur 2 eine

eindeutige Zuordnung eines Normwerts M_e zu einer Dicke der Schicht 20 möglich ist.

Mit Hilfe der Gleichung 1 wurden bisher die Fehler nahezu
5 eliminiert, die durch unterschiedlich große Abstände
zwischen der Meßspule und der zu bestimmenden Schicht und
durch unterschiedliche magnetische bzw. elektrische
Eigenschaften des Materials des Grundkörpers 17 entstehen.
Es ist aber auch noch möglich, den Einfluß der unter anderem
10 durch Temperaturschwankungen entstehenden sog. Offsetdrift
auf das Meßergebnis zu unterdrücken. Hierzu ist auch der
Induktivitätswert der Meßspule zu erfassen, der sich ergibt,
wenn die Meßspule ausschließlich gegen Luft mißt, d.h. wenn
ihr weder eine Chromschicht noch irgendein Bauteil
15 gegenüberliegt. Dieser Meßwert wird im folgenden als
Urluftwert $L_{l\infty}$ bezeichnet. Er wird ermittelt kurz vor oder
nachdem (möglichst zeitgleich) der Induktivitätswert L_{∞} mit
Hilfe eines Eichkörpers ermittelt wird. Dieser Wert $L_{l\infty}$
stellt einen Basiswert dar, der für die nachfolgenden
20 Messungen jeweils verwendet wird. Während der individuellen
Messung des einzelnen Grundkörpers 17 wird kurz vor oder
nach der oben erwähnten sog. Vormessung, d.h. möglichst
zeitgleich zur Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 der
Spule ein Induktivitätswert L_{l0} ermittelt, der entsteht,
25 wenn die Meßspule wiederum gegen Luft mißt. Anschließend
erfolgt zum Beispiel in einem Mikrocomputer eine
Differenzbildung $\Delta L_0 = L_{l0} - L_{l\infty}$. Mit Hilfe dieses Wertes
 ΔL_0 werden nun korrigierte Induktivitätswerte $L_0^* = L_0 - \Delta L_0$
errechnet. Sinngemäß ist auch bei der Messung des
30 Induktivitätswertes L_x der korrigierte Meßwert L_x^* zu
ermitteln. Hierbei wird zeitlich kurz vor oder nach der oben
erwähnten sog. Nachmessung, d.h. kurz vor oder nach der
Ermittlung des Wertes L_x der Induktivitätswert der Spule
gegenüber Luft erfaßt, der mit L_{lx} bezeichnet wird. Der Wert
35 der Spule gegenüber Luft ist hier nochmals zu ermitteln, da

ein zeitlicher Unterschied und somit eine
Temperaturschwankung zwischen der Erfassung des
Induktivitätswerts der Spule gegenüber Luft bei der sog.
Vormessung und bei der sog. Nachmessung vorhanden sein kann.

5 Der einmal ermittelte sog. Urluftwert $L_{l\infty}$ kann sowohl bei
der Korrektur des Induktivitätswerts L_0 bzw. des
Induktivitätswertes L_x über einen längeren Zeitraum
verwendet werden. Auch ist es ausreichend, wenn der
Induktivitätswert $L_{l\infty}$, der den Induktivitätswert einer
10 Messung ausschließlich gegenüber einer Chromschicht
darstellt, nur intervallartig aufgenommen wird und für
längere Zeit in einer Datenbank gespeichert wird. Wird aber
der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ neu aufgenommen, um z.B. eine
langsame und kontinuierliche Veränderung des Abstands
15 zwischen der Meßspule und dem Meßobjekt (z.B. Abrieb) zu
berücksichtigen, so ist gleichzeitig auch der sog.
Urluftwert $L_{l\infty}$ zu erneuern. Um nun bei der Normwertbildung
auch die Offsetdrift des Meßergebnisses, die durch
Temperaturschwankungen hervorgerufen wird, zu
20 berücksichtigen, ist die Gleichung 2 zu verwenden.

$$(2) \quad M_e = 1000 \cdot \frac{(L_x - (L_k - L_{l\infty})) - (L_0 - (L_{l0} - L_{l\infty}))}{L_{l\infty} - (L_0 - (L_{l0} - L_{l\infty}))}$$

Bei Austausch eines Sensors müssen der Induktivitätswert $L_{l\infty}$
25 und $L_{l\infty}$ neu aufgenommen werden. Erfolgt der Austausch
zwischen Vor- und Nachmessung muß auch bei der Nachmessung
der alte Bezugswert $L_{l\infty}$ verwendet werden.

Bei manchen Materialien für den Grundkörper 17 ändern sich
30 über längere Zeitabläufe betrachtet die elektrischen und
magnetischen Werte des Materials des Grundkörpers. Diese
Veränderung, d.h. Drift, kann bei jedem zu bestimmenden
Meßkörper unterschiedlich groß sein, da diese Drift neben
der Stoffbeschaffenheit auch von der individuellen

Wärmebehandlung, die vor dem Verchromen erfolgt, abhängt.
Für die Aufnahme von Justierkennlinien, siehe Fig. 4, werden
deshalb Eichkörper, wie sie in der Figur 8 dargestellt sind,
hergestellt. Der Eichkörper 30 weist zwei Stirnflächen 31
5 und 32 auf. Die Meßfläche 31 besteht hier aus dem
unbeschichteten Grundstoff und die Meßfläche 32 ist mit der
Chromschicht versehen. Beide Meßflächen 31 und 32 sind aber
formgleich. Die Dicke der Chromschicht, die auf die
Meßfläche 32 aufgebracht ist, ist bekannt. Der bei der
10 Eichung mit diesem Eichkörper 30 ermittelte Normwert ändert
sich nicht oder nur unwesentlich, auch wenn sich die
elektrischen und magnetischen Eigenschaften des
Grundstoffes, bedingt durch Alterungsprozesse verändern.
Vorausgesetzt ist hierbei eine homogene Änderung der
15 magnetischen und elektrischen Eigenschaften des Grundstoffs
über den gesamten Eichkörper.

Im folgenden werden die einzelnen Meß- und
Berechnungsschritte nochmals anhand des Diagramms nach Figur
20 5 aufgelistet. Das Meßverfahren läuft, wie erläutert grob,
in drei Schritten ab, einer sog. Eichwerterfassung, einer
sog. Vormessung und einer sog. Nachmessung. In der
Eichwerterfassung wird der Induktivitätswert L_{∞} erfaßt, der
ausschließlich gegenüber dem Material (bzw. dessen
25 Ersatzstoff) bestimmt wird, dessen Dicke ermittelt wird,
wobei die Stärke des Eichkörpers vorzugsweise größer als die
Eindringtiefe des magnetischen Wechselfeldes der Meßspule
ist. Anschließend wird der Induktivitätswert $L_{l\infty}$ ermittelt,
der den Induktivitätswert der Meßspule gegenüber Luft
30 möglichst im Zeitpunkt der Erfassung des Werts L_{∞}
darstellt.

Nun beginnt der sog. Vormessungsabschnitt.

3. Erfassung des aktuellen Induktivitätswerts der Spule gegenüber Luft L_{l0}
4. Differenzbildung $\Delta L_0 = L_{l0} - L_{l\infty}$.
5. Ermittlung des Induktivitätswertes L_0 , d.h. des Induktivitätswerts gegenüber dem unbeschichteten Grundkörper.
6. Ermittlung des korrigierten Werts L_0^* entsprechend der Differenzbildung $L_0^* = L_0 - \Delta L_0$

10 Nun folgen die Berechnungsschritte der sog. Nachmessung:

7. Ermittlung des Induktivitätswerts der Spule gegenüber Luft L_{lx}
8. Bilde die Differenz $\Delta L_x = L_{lx} - L_{l\infty}$
- 15 9. Ermittlung des Induktivitätswerts L_x
10. Ermittlung des korrigierten Wertes L_x^* durch Differenzbildung: $L_x^* = L_x - \Delta L_x$
11. Durchführung der Normwertberechnung entsprechend der Gleichung mit den Werten L_{∞} , und L_x^* bzw L_0^*
- 20 12. Umwandlung des unter 11 ermittelten Normwertes in eine Schichtdicke mit Hilfe einer Eichkurve.

In einer Abwandlung des Verfahrens wird der Induktivitätswert L_0 nicht mehr bei jedem einzelnen Bauteil individuell gegenüber diesem ermittelt, sondern nun mit Hilfe eines Eichelements gemessen und abgespeichert. Dieses Justierteil darf aber seine elektrischen und magnetischen Eigenschaften während der Betriebsdauer der Anlage nicht verändern. Der Induktivitätswert L_{∞} wird wie oben beschrieben ermittelt. Im folgenden werden nun die Meßschritte entsprechend Figur 7 dargelegt, wobei zur Vereinfachung und aus Übersichtlichkeitsgründen die Korrektur der Drift der Temperatur nicht berücksichtigt ist. Für diese Abwandlung des Verfahrens ist es erforderlich, für jedes Material eine eigene Umwandlungseichkurve entsprechend

Figur 6 aufzunehmen, die mit den gleichen unter Schritt 1 verwendeten Eichelementen aufgenommen sind.

Schritt 1

5

1. Aufnahme des Induktivitätswerts L_{∞} und Speicherung in Datenbank
2. Aufnahme des Induktivitätswertes L_0 gegenüber einem Eichelement und Speicherung in Datenbank.

10

Schritt 2

3. Ermittlung des Induktivitätswerts L_0 an einem unbeschichteten Bauteil
4. Errechnung des Normwerts M_e mit Hilfe der Gleichung 1 bei Schichtdicke Null.
5. Auswahl der materialbezogenen Umwandlungseichkurve gemäß Figur 6.

20

Schritt 3

6. Ermittlung des Induktivitätswertes L_x an einem beschichteten Bauteil
7. Berechnung des Normwertes mit Hilfe der Gleichung 1
8. Umsetzung der Normwerte in Schichtdickenwerte mit Hilfe einer ausgewählten Eichkurve.

25

Anzumerken ist, daß bei dem Verfahren gegenüber dem beim Stand der Technik verwendeten Wirbelstromverfahren bzw. Induktivverfahren die Meßspule von einem hochfrequenten Wechselstrom, z.B. 4 MHz durchflossen wird. Dabei ergeben sich kleinere Spuleninduktivitäten. Es ist kein Spulenkern erforderlich, so daß eine variable und preiswerte Bauweise möglich ist.

30

35

Durch Einsatz eines sog. Multiplexers ist es möglich, viele Meßteile in kurzer Zeit vermessen zu können. Hierbei sind viele Meßspulen gleichzeitig den zu bestimmenden Meßflächen zugeordnet. Kurzzeitig nacheinander werden von einer Meßbrücke mittels des Multiplexers diese Meßflächen abgetastet. Dies ist möglich, auch wenn mit der oben erwähnten hohen Meßfrequenz von z.B. 4 MHz die Induktivitätswerte ermittelt werden.

In der Figur 9 ist eine weitere Ausgestaltung der konstruktiven Anordnung nach Figur 1 dargestellt. Die im Verfahren beschriebene Erfassung des Induktivitätswerts L_0 (Messung der Spule gegenüber unbeschichtetem Bauteil) kann auch mit einer separaten zweiten Meßspule 40 erfolgen. Hierzu muß nach der Verchromung, d.h. nach Aufbringen der Schicht, deren Dicke zu messen ist, auf der Oberfläche des zu überwachenden Bauteils noch eine nicht beschichtete Zone vorhanden sein. Bei dem in der Figur 9 dargestellten Bauteil 41 ragt ein Fortsatz 44 des Spulenkörpers 42 in eine Bohrung 43 des Bauteils 41. Die Wandung der Bohrung 43 ist hierbei nicht mit der zu bestimmenden Chromschicht bedeckt. Mit Hilfe der Spule 40 kann nun die elektrische und magnetische Eigenschaft des Grundkörpers ermittelt werden, während gleichzeitig mit Hilfe der Meßspule 14 eine Messung gegenüber der zu bestimmenden Chromschicht erfolgen kann. Mit Hilfe dieses Sensors ist es möglich, daß das Bauteil nur einmal auf dem Sensor positioniert werden muß, so daß eine noch kürzere Taktzeit entsteht.

Bei dem bisher beschriebenen Meßverfahren wurde davon ausgegangen, daß die Qualität des Grundstoffes nur in sehr geringen Grenzen schwankt. Dies gilt insbesondere für die Figuren 2 und 4. Wird der Grundstoff bei einer Massenproduktion aber zum Beispiel von verschiedenen Herstellern angeliefert, so können Qualitätsunterschiede mit

größeren Schwankungen auftreten. Diese Schwankungen können zum Beispiel durch unterschiedliche Glühverfahren des Grundstoffes hervorgerufen sein, was aber Veränderungen der Permeabilität des Grundstoffes bedingt. Diese größeren

5 Schwankungen bewirken somit eine Veränderung der magnetischen und elektrischen Eigenschaften des Grundstoffes, wodurch, ohne daß unterschiedliche Schichtdicken vorliegen würden, unterschiedliche Meßsignale erzeugt würden. Mit Hilfe des anschließend beschriebenen

10 Korrekturverfahrens wird nun dieser Einfluß von Schwankungen der stofflichen Beschaffenheit des Grundstoffs auf das Meßsignal weitgehend eliminiert. In der Figur 4 ist man bisher von nahezu zusammenfallenden Meßkurven bei relativ geringfügig unterschiedlichen Grundstoffen ausgegangen.

15 Bedingt durch die oben erwähnte große unterschiedliche Qualität des Grundstoffes ergeben sich, in der Figur 10 dargestellt, unterschiedliche Kurven, die den Zusammenhang zwischen M_e und a darstellen. Die Anfangs- und Endpunkte aller Meßkurven würden zusammenfallen. Zur

20 Fehlereliminierung muß nun zuerst ein Kennwert K ermittelt werden, der die Qualität des Grundstoffes beschreibt und somit eine Aussage über die Qualität des Grundstoffes ermittelt. Hierzu wird von der oben beschriebenen Vormessung der Induktivitätswert L_0 der Sensorspule benützt. Dieser

25 Wert L_0 wird anschließend mit Hilfe eines Algorithmuses in einen dimensionslosen Kennwert K umgeformt. Die Größe dieses Kennwertes K bestimmt den Wert eines daraus abgeleiteten Korrekturfaktors F , mit dem das gemessene Meßsignal der Dicke der Beschichtung korrigiert werden kann.

30 Selbstverständlich muß für jedes einzelne Meßobjekt der Wert L_0 ermittelt werden. Der Kennwert K errechnet sich nun nach folgender Beziehung:

$$K = e * \frac{L_{SA} - L_0}{L_{\infty}^* - L_{SA}}$$

e ist ein Zahlenfaktor (z.B. 100) um anschauliche
5 Kenngrößenwerte zu erhalten. Er kann auch eventuell Eins
sein.

Ferner ist L_{SA} der Induktivitätswert der Sensorspule gemessen
gegenüber Luft

10 L_0 der Induktivitätswert der Sensorspule, wobei
die Spule auf der unbeschichteten Meßfläche
des Grundstoffes positioniert ist

L_{∞}^* der Induktivitätswert der Sensorspule, wobei
15 die Spule auf einer chrombeschichteten Meßfläche
positioniert ist, d.h. die Schichtdicke von
zum Beispiel Chrom ist viel dicker als die
Eindringtiefe des Wechselfeldes der Spule,
was bedeutet, daß die Spule nur gegenüber dem
Material der Schicht mißt.

20 Dieser Kennwert K erfaßt, weitgehend unabhängig von der
Meßempfindlichkeit der Meßspule, im weitesten Sinn die
elektrischen und magnetischen Eigenschaften des
25 Grundstoffes. Da diese Eigenschaften die Höhe des Meßsignals
beeinflussen, wie der obigen Ausführung zur Ermittlung des
Meßwertes zu entnehmen ist, kann der Kennwert K zur
Korrektur des ermittelten Meßwertes der Schichtdicke
herangezogen werden.

30 Dieser Kennwert K muß nun in einem Korrekturfaktor F zur
Meßfehlereliminierung der für die Schichtdicke gemessenen
Meßwerte umgewandelt werden. Dieser Korrekturfaktor F wird
zum Beispiel mit Hilfe der in Figur 11 dargestellten

Justierkennlinie ermittelt. Im Diagramm nach Figur 11 ist ein linearer Zusammenhang zwischen dem Korrekturfaktor F und dem Kennwert K, der der Gleichung

5
$$F_x = b * K_x + c$$

entspricht, unterstellt. In dieser Gleichung entspricht b der Steigung der Justierkennlinie und c dem Anfangswert der Kurve.

10 Diese Justierkennlinie wird nun so ermittelt, daß Meßobjekte mit unterschiedlichen Kennwerten K gleich beschichtet werden, z.B. mit der Nennschichtdicke des zu prüfenden Teils. Diese Schichtdicke wird nun zuerst mit dem oben
15 beschriebenen Verfahren gemessen und mit einem anderen Verfahren, z.B. im Schliffbild, verifiziert. Durch die Beziehung $F = \frac{D_M}{D_W}$ kann für die Kennwerte K der einzelnen Meßobjekte der jeweilige Korrekturfaktor F ermittelt werden.

20 Dabei bedeutet

D_W die wirkliche Schichtdicke, wie sie z.B. im Schliffbild gemessen wird und

D_M die mit Hilfe des oben erwähnten Meßverfahrens bestimmte
25 Schichtdicke.

Diese für verschiedene Meßobjekte ermittelten Kennwerte K und Korrekturverfahren F werden in ein Diagramm nach der Figur 11 eingetragen. Der Verlauf der sich daraus ergebenden
30 Kurve ist auch abhängig vom Trägermaterial des Meßobjekts. Der Kurvenverlauf kann auch nahezu linear sein. In diesem Fall lassen sich die Faktoren b und c der oben genannten Gleichung $F_x = b * K_x + c$ ermitteln, so daß sich die Umsetzung der Kennwerte in Korrekturfaktoren einfach

bewerkstelligen läßt. Falls man keine linearen Verhältnisse unterstellen kann, muß die Umsetzung der Kennwerte in Korrekturfaktoren mittels tabellarisch hinterlegter Werte erfolgen.

5

Die größte Korrekturgenauigkeit erhält man, wenn die oben erwähnte Nennschichtdicke auch weitgehend der Dicke der anschließend zu messenden und zu korrigierenden Schicht entspricht.

10

Nach Ermittlung dieser in Figur 11 dargestellten Justierkennlinie kann jedem Kennwert K ein Korrekturfaktor F zugeordnet werden. Somit kann im weiteren jeder ermittelten Schichtdicke D_M mit Hilfe des Korrekturfaktors F

15

entsprechend der Beziehung $D_W = \frac{D_M}{F}$ die reale Schichtdicke D_W ermittelt werden.

5

Ansprüche

- 10 1. Verfahren zur Eliminierung von Meßfehlern bei der
Bestimmung einer Dicke einer Schicht (20) aus elektrisch
leitendem Material, die auf einem Körper (17) aus
ferromagnetischem Material aufgebracht ist, mit Hilfe
mindestens einer von einem Wechselstrom durchflossenen
15 Meßspule (14), deren Induktivitätsänderung ausgewertet wird,
wobei ein dimensionsloser Kennwert (K) mit Hilfe der
Gleichung ermittelt wird:

$$K = e * \frac{L_{SA} - L_0}{L_{\infty} - L_{SA}},$$

20

wobei der Kennwert (K) mit Hilfe einer Justierkennlinie in
einen Korrekturfaktor (F) umgewandelt wird und wobei der
gemessene Dickenwert (D_M) in einen realen Dickenwert (D_W)
mit Hilfe der Gleichung

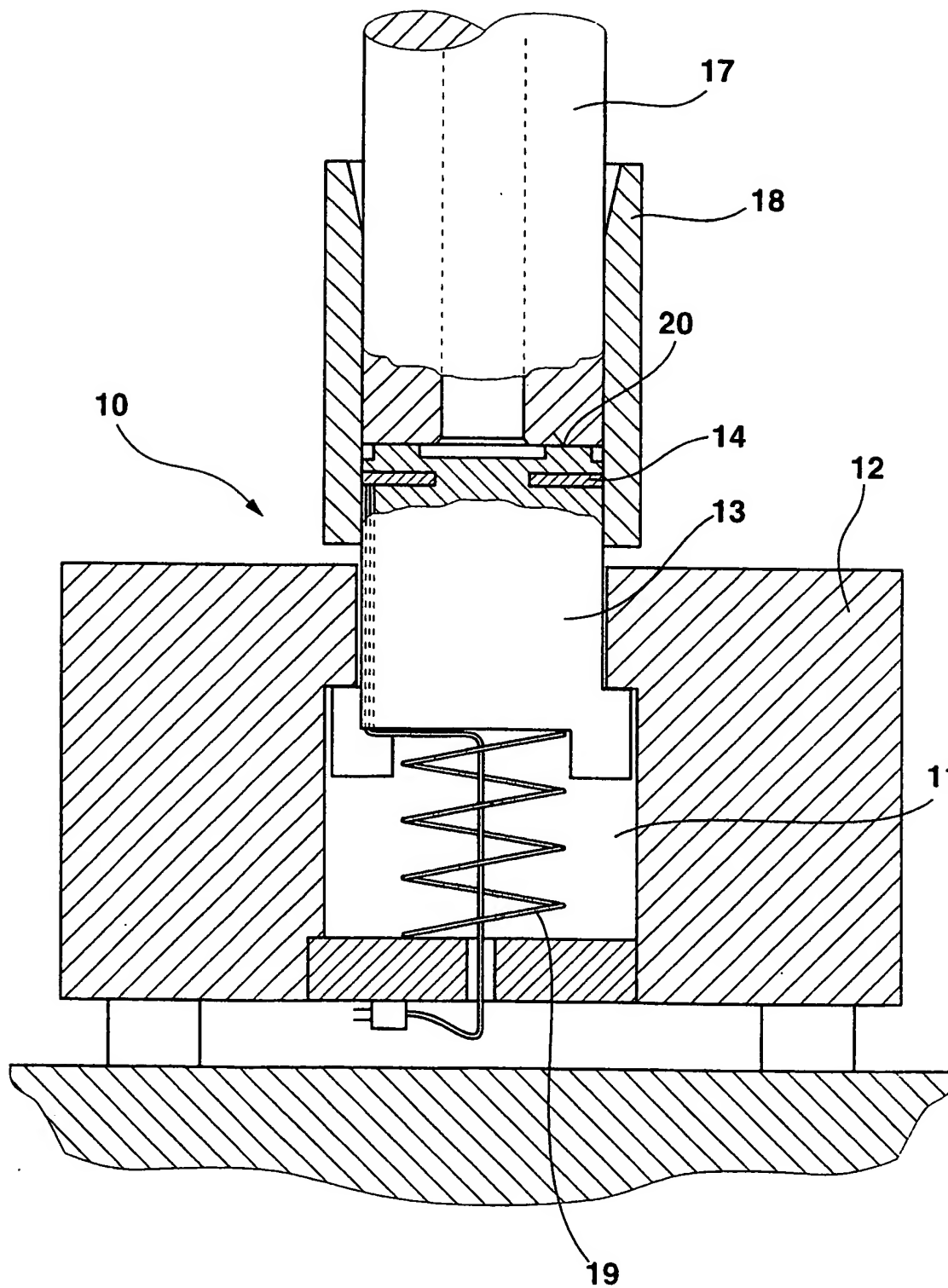
25

$$D_W = \frac{D_M}{F}$$

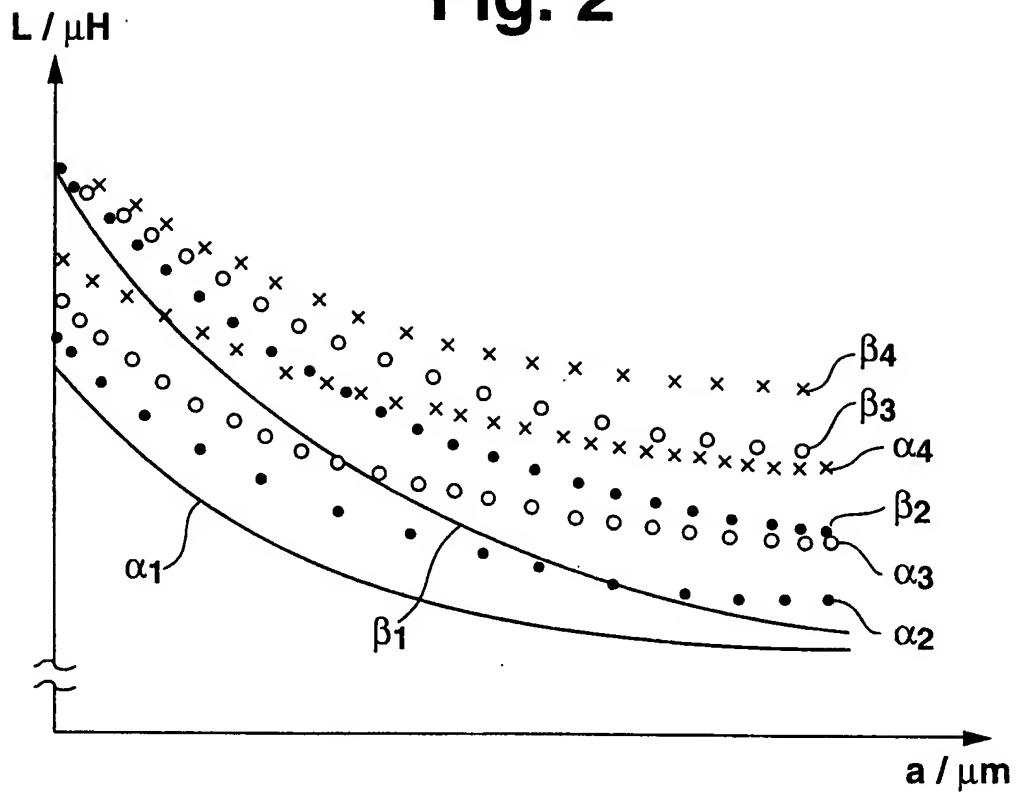
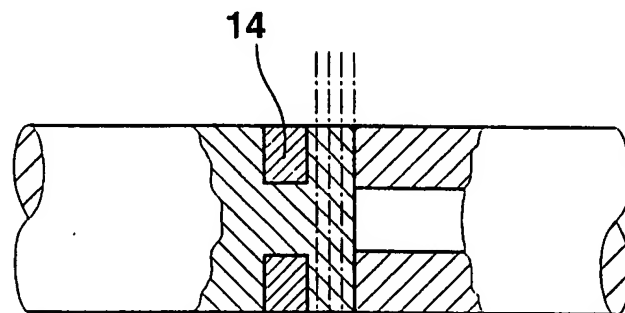
umgewandelt wird.

- 30 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß
die Justierkennlinie nahezu linear verläuft.

Fig. 1



2 / 6

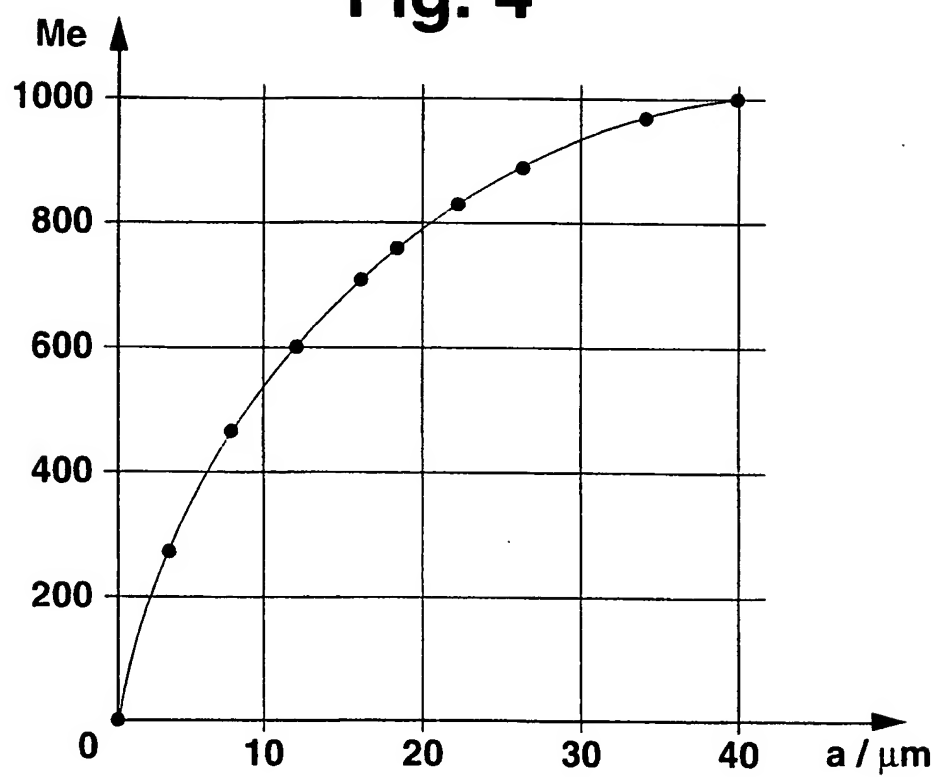
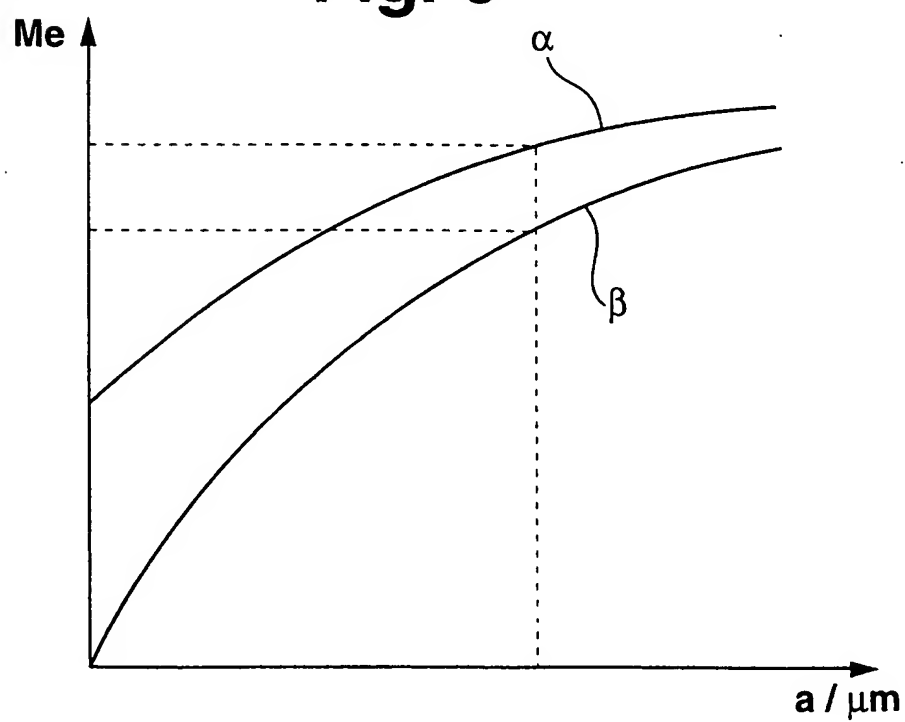
Fig. 2**Fig. 3**

— ••••• ○○○○ ××××

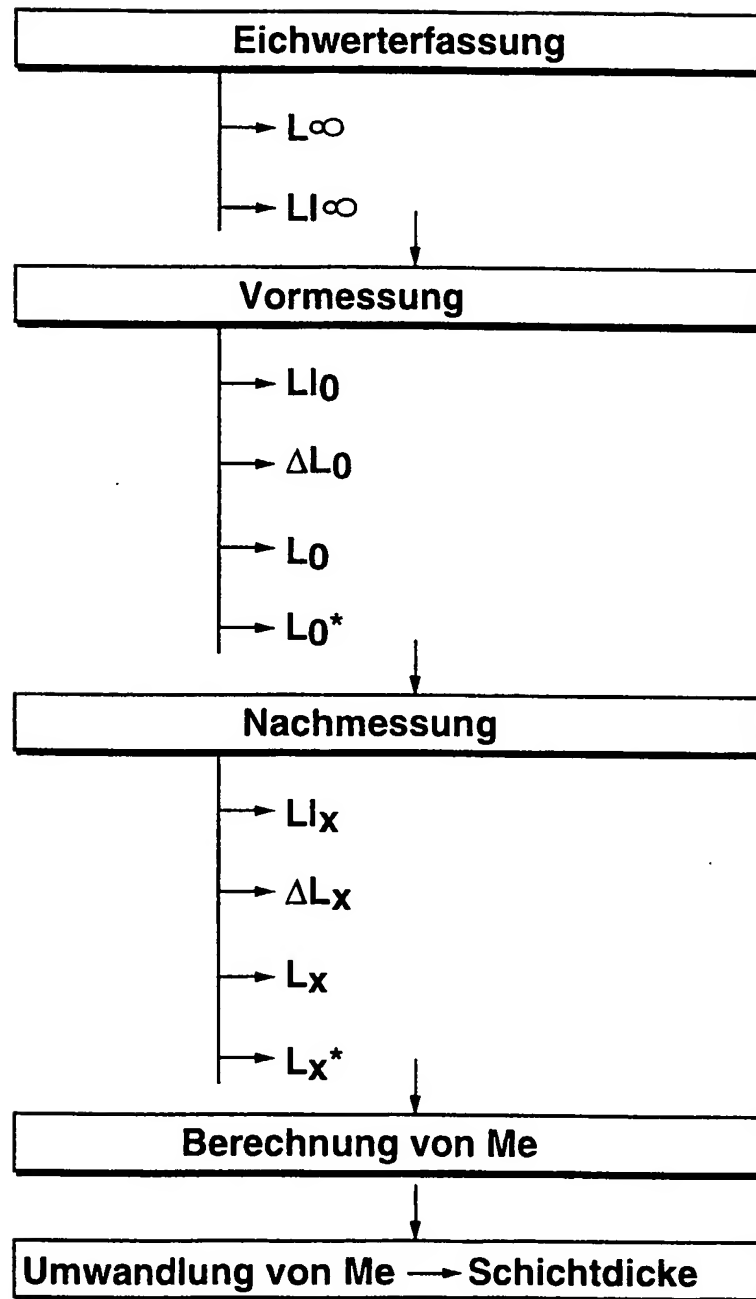
$\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3 < \alpha_4$

$\beta_1 < \beta_2 < \beta_3 < \beta_4$

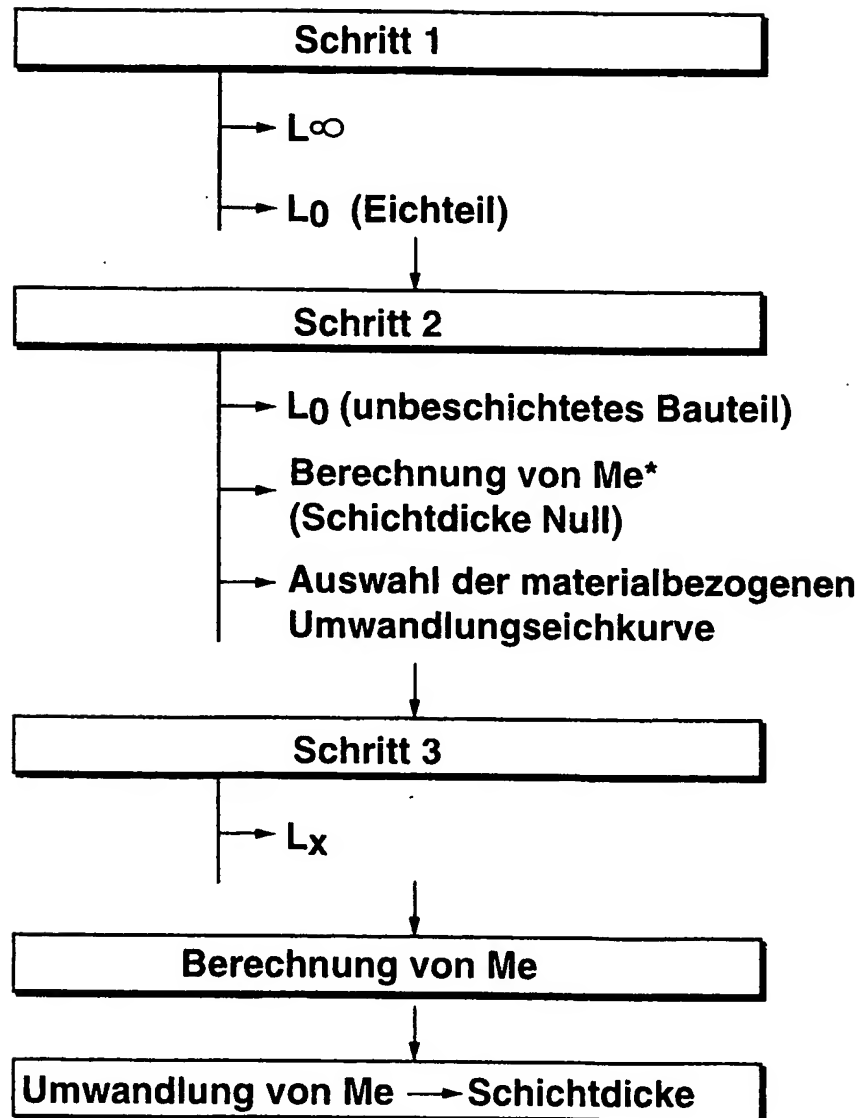
3 / 6

Fig. 4**Fig. 6**

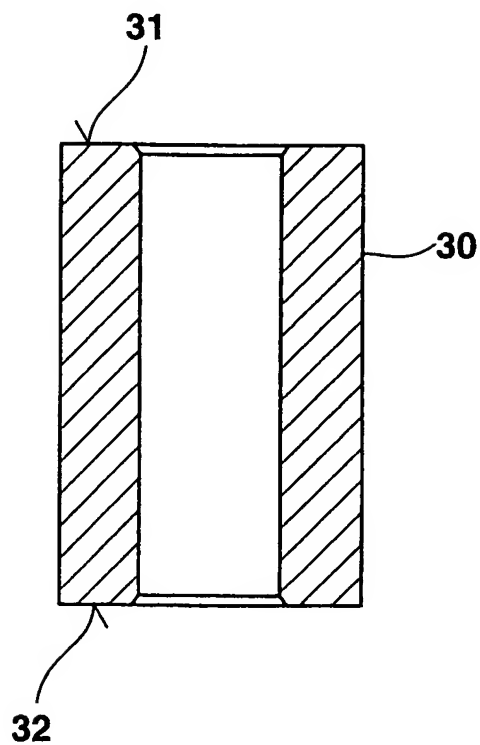
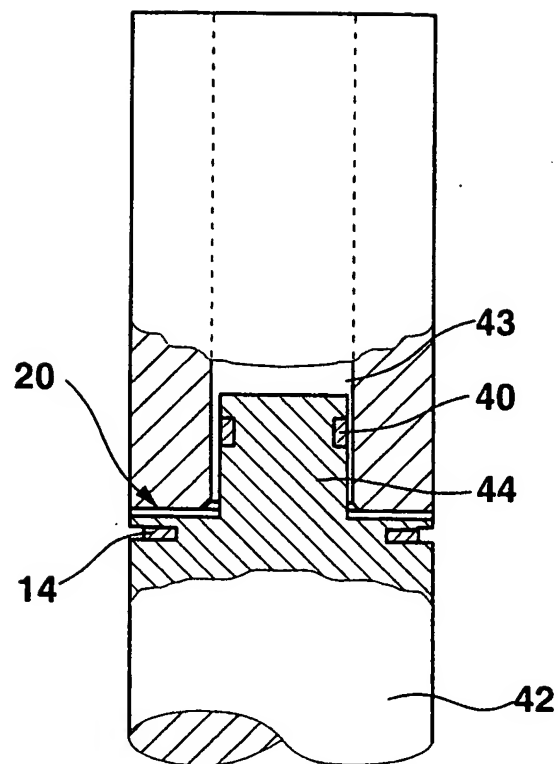
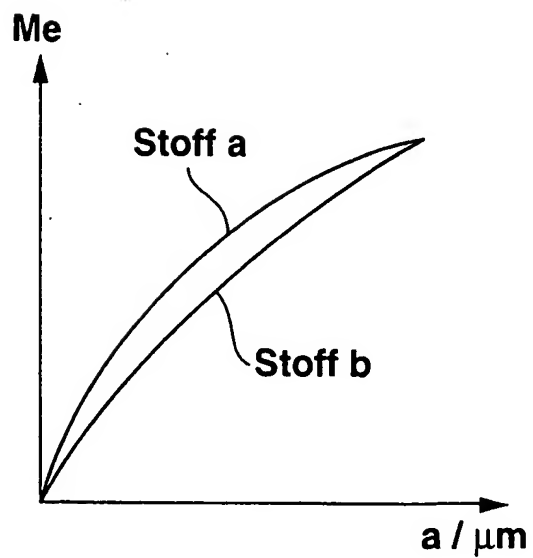
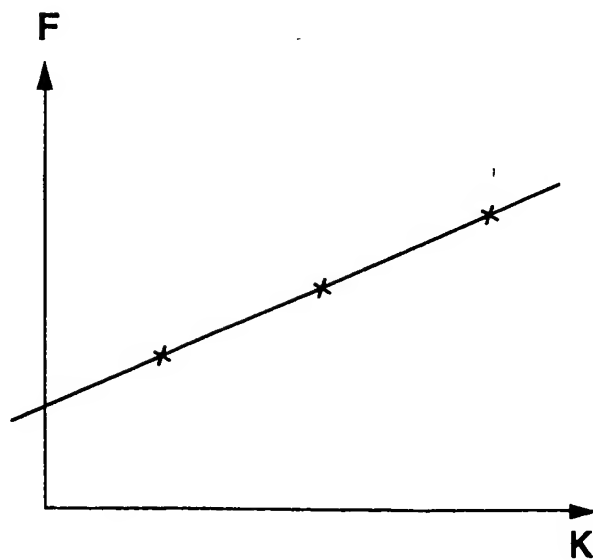
4 / 6

Fig. 5

5 / 6

Fig. 7

6 / 6

Fig. 8**Fig. 9****Fig. 10****Fig. 11**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

national Application No
PCT/DE 99/00869

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01B7/06 G01B121/02 G01B101/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	DE 196 52 750 A (BOSCH GMBH ROBERT) 2 July 1998 (1998-07-02) cited in the application the whole document ---	1,2
A	US 4 829 251 A (FISCHER HELMUT) 9 May 1989 (1989-05-09) the whole document ---	1,2
A	GB 2 257 520 A (FISCHER GMBH & CO HELMUT) 13 January 1993 (1993-01-13) the whole document ---	1,2
A	US 3 922 599 A (STEINGROEVER ERICH ET AL) 25 November 1975 (1975-11-25) the whole document ---	1,2
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

11 October 1999

Date of mailing of the international search report

18/10/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Brock, T

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 525 903 A (MANDL ROLAND ET AL) 11 June 1996 (1996-06-11) the whole document -----	1,2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/00869

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19652750 A	02-07-1998	AU 5307298 A CN 1210584 A WO 9827400 A EP 0891532 A	15-07-1998 10-03-1999 25-06-1998 20-01-1999
US 4829251 A	09-05-1989	NONE	
GB 2257520 A	13-01-1993	FR 2678061 A	24-12-1992
US 3922599 A	25-11-1975	DE 2345848 A FR 2243414 A GB 1410301 A JP 50057260 A	20-03-1975 04-04-1975 15-10-1975 19-05-1975
US 5525903 A	11-06-1996	DE 4327712 A JP 7167838 A	23-02-1995 04-07-1995

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 IPK 6 G01B7/06 G01B121/02 G01B101/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 IPK 6 G01B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P, A	DE 196 52 750 A (BOSCH GMBH ROBERT) 2. Juli 1998 (1998-07-02) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument ---	1,2
A	US 4 829 251 A (FISCHER HELMUT) 9. Mai 1989 (1989-05-09) das ganze Dokument ---	1,2
A	GB 2 257 520 A (FISCHER GMBH & CO HELMUT) 13. Januar 1993 (1993-01-13) das ganze Dokument ---	1,2
A	US 3 922 599 A (STEINGROEVER ERICH ET AL) 25. November 1975 (1975-11-25) das ganze Dokument ---	1,2
-/--		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

11. Oktober 1999

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/10/1999

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Brock, T

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 525 903 A (MANDL ROLAND ET AL) 11. Juni 1996 (1996-06-11) das ganze Dokument -----	1,2

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19652750	A	02-07-1998	AU	5307298 A	15-07-1998
			CN	1210584 A	10-03-1999
			WO	9827400 A	25-06-1998
			EP	0891532 A	20-01-1999
US 4829251	A	09-05-1989	KEINE		
GB 2257520	A	13-01-1993	FR	2678061 A	24-12-1992
US 3922599	A	25-11-1975	DE	2345848 A	20-03-1975
			FR	2243414 A	04-04-1975
			GB	1410301 A	15-10-1975
			JP	50057260 A	19-05-1975
US 5525903	A	11-06-1996	DE	4327712 A	23-02-1995
			JP	7167838 A	04-07-1995

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ BLACK BORDERS

☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES

☒ FADED TEXT OR DRAWING

☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING

☐ SKEWED/SLANTED IMAGES

☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS

☐ GRAY SCALE DOCUMENTS

☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT

☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.